

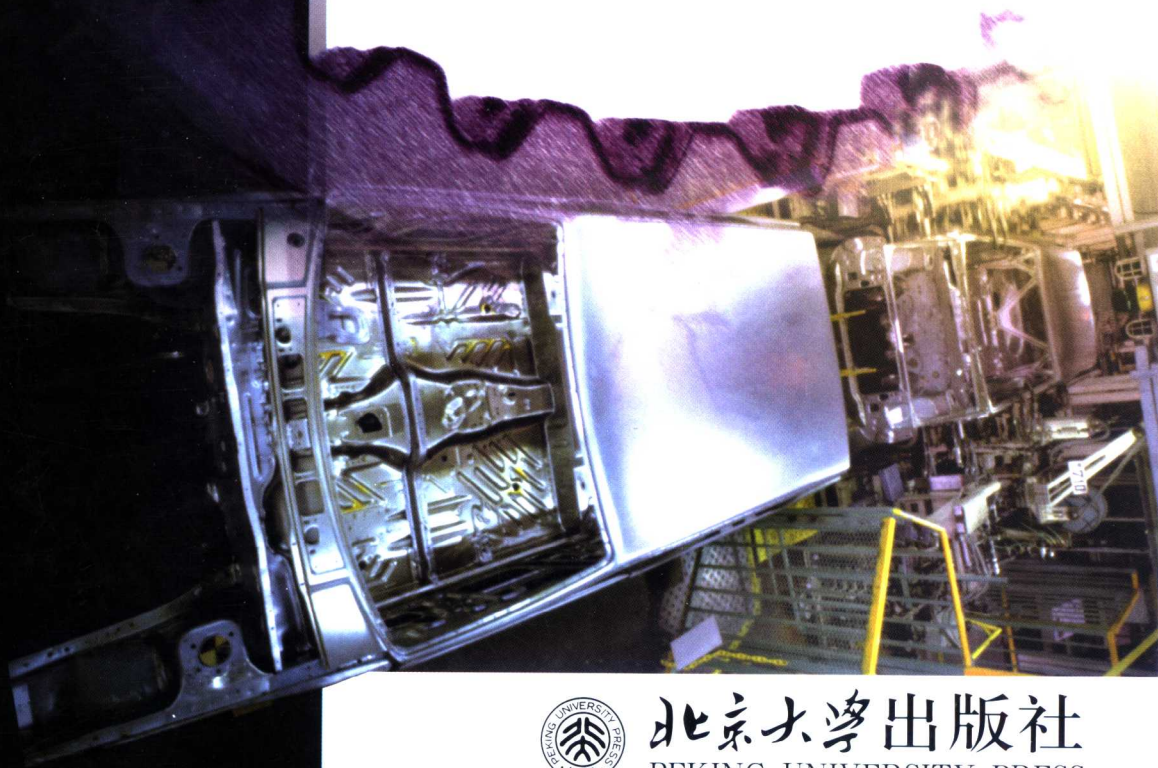
Pro/ENGINEER  
野火版

Pro/ENGINEER 野火版系列丛书

# ENGINEER WILDFIRE

## 装配设计

云杰媒体工作室 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

Pro/ENGINEER 野火版系列丛书

# Pro/ENGINEER WILDFIRE 装配设计

云杰媒体工作室 编著

北京大学出版社

• 北 京 •

## 内 容 简 介

本书以 Pro/ENGINEER 的最新版本 WILDFIRE 中文版为基础, 全面阐述 Pro/ENGINEER 装配设计这一重要功能。立足于中国用户的实际需求, 从学习的角度出发由浅入深、循序渐进, 由整体装配控制到具体元件操作, 配合精选实例详细讲解了 Pro/ENGINEER 的装配知识。全书不仅介绍了装配基础、元件控制、装配修改及数据相关性、高级操作、插入装配特征、装配管道设计与自顶向下装配设计, 以及动态装配技术等知识, 还通过一个大型综合实例详细且全面地串讲了装配设计的整个流程操作。通过本书的学习, 读者应能掌握 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版的装配功能, 并在实际工作中达到熟练应用。

本书编写结构严谨、内容丰富、语言规范, 实例主要着眼于实际设计, 实用性与专业性强, 适合使用 Pro/ENGINEER 进行机械装配设计的广大用户学习阅读, 同时也可供各大、中专院校作为机械设计课程的培训教程使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER WILDFIRE 装配设计/云杰媒体工作室编著. —北京: 北京大学出版社, 2004.12

(Pro/ENGINEER 野火版系列丛书)

ISBN 7-301-06569-8

I. P… II. 云… III. 装配(机械)—计算机辅助设计: 机械设计—应用软件, Pro/ENGINEER WILDFIRE IV. TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 087031 号

书 名: Pro/ENGINEER WILDFIRE 装配设计

著作责任者: 云杰媒体工作室 编著

责任编辑: 王方明

标准书号: ISBN 7-301-06569-8/TP·0739

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126

电子信箱: [xxjs@pup.pku.edu.cn](mailto:xxjs@pup.pku.edu.cn)

排 版 者: 北京东方人北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 549 千字

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 44.00 元(含光盘)

# 前 言

在工业生产中,几乎所有的产品都不是单一零件独立形成的,而都是由多个零件通过一定的装配关系组合生成的。因此,在产品设计中,装配设计无疑是十分重要的一环。它不仅是各个零件功能的有机组合,而且是工程师对产品思想设计的直接体现,如果一个软件的装配设计功能不能很好地体现这一点,那么这个软件就不是一个成熟的设计软件。Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版在这一点上的表现非常优秀,充分体现了作为大型设计软件所拥有的强大优势。

Pro/ENGINEER 是美国 PTC 公司的标志性软件产品,该软件能将设计至生产的过程集成在一起,让所有的用户同时进行同一产品的设计制造工作,因此自 1988 年问世伊始,即引起机械 CAD/CAE/CAM 界的极大震动。它提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关及工程数据再利用等概念改变了 MDA(Mechanical Design Automation, 机械设计自动化)的传统观念,这种全新的概念已成为当今世界 MDA 领域的新标准。

在 Pro/ENGINEER 中,其装配设计功能直接建立在对产品设计思想、设计意图的精确体现上,其超前的装配设计概念涵盖了整个产品设计的全过程,并在此基础上对装配中涉及到的所有可能的功能进行了非常详细的细化设计,以及极其直观的,直接捕捉设计者装配意图的方便操作,使得设计者在整个装配设计过程中能够完美体现其设计意图的同时仍然保持高效率的操作。在 Pro/ENGINEER 的最新版本 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版中,设计者针对装配中的多种功能进行了大量的补充和更新,使用户可以更加方便地进行装配设计,这一切无疑为广大的产品设计和装配设计人员带来了福音。

为了使读者在 Pro/ENGINEER 的装配设计领域中能更好地学习掌握,同时尽快熟悉 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版的装配功能,笔者根据多年在该领域的 Pro/ENGINEER 装配设计经验,编写了本书。本书立足于中国用户的实际需求,从学习的角度出发,由浅入深,循序渐进,由整体装配的控制到具体元件的操作,配合精选实例详细地讲解了 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版的装配功能。在书中,笔者通过大量的制作方法和设计技巧,以及实例讲解来诠释装配设计方法。通过本书的学习之后,我们相信读者能够掌握 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版的装配功能,并能够在实际工作中熟练应用。

全书共分 9 章,第 1 章主要讲解在全面学习 Pro/ENGINEER 装配前所应当掌握的基础知识和设计环境配置;第 2 章主要讲解在装配的过程中如何精确控制元件的位置关系,以便更好地完成装配设计的功能;第 3 章主要讲解 Pro/ENGINEER 装配的修改及数据相关性知识;第 4 章主要讲解了在装配过程中如何对零件进行替换、重复、复制与合并等高级操作;第 5 章主要讲解如何在装配体中插入装配特征来表现设计意图;第 6 章主要讲解 Pro/ENGINEER 装配管道设计;第 7 章主要讲解自顶向下装配设计知识;第 8 章主要讲解动态装配技术;第 9 章则通过一个大型综合实例详细而全面地讲解了装配设计的整个流程操作。

本书突破了以往 Pro/ENGINEER 书籍的大而全的写作模式,主要针对使用 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版进行装配设计的广大用户,专业性与实用性都上升到了

一个高度，既可以作为装配设计实战的指导用书，同时也可作为立志进行这项工作的用户的优秀培训教程。

本书是云杰媒体工作室集体创作的结晶。由郝利剑、张云静、张云杰主编，参加编写工作的还有尚蕾、张云石、翟峰、关大友、黄雪毅、吕欣、王剑、王树勇等。

编者

2004 年 7 月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 Pro/ENGINEER 装配基础.....    | 1  |
| 1.1 基本概念及环境配置 .....             | 1  |
| 1.1.1 组件的新建和打开 .....            | 1  |
| 1.1.2 界面介绍 .....                | 3  |
| 1.1.3 基本概念 .....                | 6  |
| 1.1.4 配置文件 .....                | 9  |
| 1.2 设置模板 .....                  | 10 |
| 1.2.1 模板的使用 .....               | 11 |
| 1.2.2 设置默认模板 .....              | 12 |
| 1.3 放置元件 .....                  | 14 |
| 1.4 装配约束类型 .....                | 17 |
| 1.4.1 匹配 .....                  | 18 |
| 1.4.2 对齐 .....                  | 19 |
| 1.4.3 插入 .....                  | 21 |
| 1.4.4 坐标系 .....                 | 22 |
| 1.4.5 相切 .....                  | 23 |
| 1.4.6 线上点 .....                 | 23 |
| 1.4.7 曲线上的点 .....               | 24 |
| 1.4.8 曲线上的边 .....               | 24 |
| 第 2 章 Pro/ENGINEER 装配元件控制 ..... | 26 |
| 2.1 生成装配 .....                  | 26 |
| 2.1.1 生成装配的基本方法 .....           | 26 |
| 2.1.2 建立装配文件 .....              | 26 |
| 2.1.3 装配零件 .....                | 28 |
| 2.2 元件的移动 .....                 | 32 |
| 2.2.1 【视图平面】 .....              | 33 |
| 2.2.2 【选取平面】 .....              | 34 |
| 2.2.3 【图元/边】 .....              | 35 |
| 2.2.4 【平面法向】 .....              | 37 |
| 2.2.5 【2 点】 .....               | 38 |
| 2.2.6 【坐标系】 .....               | 39 |
| 2.3 元件的旋转 .....                 | 41 |
| 2.3.1 【视图平面】 .....              | 41 |

|       |                                |     |
|-------|--------------------------------|-----|
| 2.3.2 | 【选取平面】 .....                   | 42  |
| 2.3.3 | 【图元/边】 .....                   | 43  |
| 2.3.4 | 【平面法向】 .....                   | 44  |
| 2.3.5 | 【2 点】 .....                    | 44  |
| 2.3.6 | 【坐标系】 .....                    | 45  |
| 2.4   | 元件的调整 .....                    | 45  |
| 2.4.1 | 【视图平面】 .....                   | 46  |
| 2.4.2 | 【选取平面】 .....                   | 47  |
| 2.4.3 | 【图元/边】 .....                   | 48  |
| 2.4.4 | 【平面法向】 .....                   | 49  |
| 2.4.5 | 【2 点】 .....                    | 50  |
| 2.4.6 | 【坐标系】 .....                    | 51  |
| 2.5   | 元件的删除 .....                    | 52  |
| 2.5.1 | 删除子级元件 .....                   | 52  |
| 2.5.2 | 删除父级元件 .....                   | 53  |
| 2.6   | 元件的隐藏、隐舍、压缩和恢复 .....           | 56  |
| 2.6.1 | 元件的隐藏和恢复 .....                 | 56  |
| 2.6.2 | 元件的隐舍、压缩和恢复 .....              | 57  |
| 第 3 章 | Pro/ENGINEER 装配的修改及数据相关性 ..... | 61  |
| 3.1   | 装配的修改和数据相关性基础 .....            | 61  |
| 3.1.1 | 修改元件名称 .....                   | 61  |
| 3.1.2 | 修改元件 .....                     | 63  |
| 3.1.3 | 修改装配关系 .....                   | 65  |
| 3.1.4 | 数据相关性 .....                    | 66  |
| 3.2   | 实例 1: 元件修改实例 .....             | 67  |
| 3.2.1 | 生成装配 .....                     | 67  |
| 3.2.2 | 修改元件名称 .....                   | 74  |
| 3.2.3 | 修改元件 .....                     | 78  |
| 3.3   | 实例 2: 装配关系的修改 .....            | 85  |
| 3.3.1 | 在【元件放置】对话框中修改 .....            | 85  |
| 3.3.2 | 在主窗口中修改 .....                  | 88  |
| 3.4   | 实例 3: 装配工程图的生成及其相关性 .....      | 89  |
| 3.4.1 | 引入装配模型 .....                   | 89  |
| 3.4.2 | 创建明细表 .....                    | 90  |
| 3.4.3 | 创建主要视图 .....                   | 98  |
| 3.4.4 | 创建爆炸图 .....                    | 101 |
| 3.4.5 | 装配工程图编辑 .....                  | 103 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>第4章 Pro/ENGINEER 装配高级工具</b> ..... | 108 |
| 4.1 生成装配 .....                       | 108 |
| 4.1.1 生成装配的基础讲解 .....                | 108 |
| 4.1.2 生成装配实例 .....                   | 109 |
| 4.2 元件的复制 .....                      | 126 |
| 4.2.1 元件复制基础 .....                   | 127 |
| 4.2.2 元件复制实例 .....                   | 127 |
| 4.3 元件的重复 .....                      | 135 |
| 4.3.1 元件的重复基础讲解 .....                | 135 |
| 4.3.2 元件的重复实例 .....                  | 136 |
| 4.4 元件的替换 .....                      | 139 |
| 4.4.1 元件的替换基础讲解 .....                | 140 |
| 4.4.2 元件的替换实例 .....                  | 140 |
| 4.5 元件归组 .....                       | 143 |
| 4.5.1 元件归组基础介绍 .....                 | 144 |
| 4.5.2 元件归组实例 .....                   | 144 |
| 4.6 元件合并 .....                       | 145 |
| 4.6.1 元件的合并基础介绍 .....                | 146 |
| 4.6.2 元件合并实例 .....                   | 146 |
| 4.7 元件切除 .....                       | 149 |
| 4.7.1 元件切除基础介绍 .....                 | 149 |
| 4.7.2 元件切除实例 .....                   | 150 |
| 4.8 元件封装 .....                       | 153 |
| 4.8.1 元件的封装基础介绍 .....                | 153 |
| 4.8.2 元件的封装实例 .....                  | 153 |
| <b>第5章 Pro/ENGINEER 装配高级操作</b> ..... | 157 |
| 5.1 插入装配特征 .....                     | 157 |
| 5.1.1 装配特征的用途 .....                  | 157 |
| 5.1.2 如何在装配中插入装配特征 .....             | 157 |
| 5.1.3 如何定义装配特征的影响范围及可视等级 .....       | 173 |
| 5.2 在装配中定义新零件 .....                  | 179 |
| 5.2.1 定义新零件的一般步骤 .....               | 179 |
| 5.2.2 定义新零件实例 .....                  | 180 |
| 5.3 在装配中定义新的子装配 .....                | 184 |
| 5.3.1 定义新的子装配的基本过程 .....             | 184 |
| 5.3.2 定义新的子装配实例 .....                | 185 |
| 5.4 生成装配的分解状态 .....                  | 191 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 5.4.1 分解状态的主要特点 .....                  | 191        |
| 5.4.2 生成分解状态的基本方法 .....                | 192        |
| 5.4.3 分解状态范例 .....                     | 194        |
| <b>第 6 章 Pro/ENGINEER 装配管道设计 .....</b> | <b>203</b> |
| 6.1 管道模块简介 .....                       | 203        |
| 6.2 基本概念 .....                         | 203        |
| 6.3 管道的使用步骤 .....                      | 204        |
| 6.3.1 设计 Pro/ENGINEER 组件 .....         | 204        |
| 6.3.2 进入管道模式 .....                     | 204        |
| 6.3.3 管材设计 .....                       | 206        |
| 6.3.4 管线设计 .....                       | 209        |
| 6.3.5 插入接头 .....                       | 212        |
| 6.3.6 生成管道实体 .....                     | 213        |
| 6.3.7 获取管道信息 .....                     | 215        |
| 6.4 管道范例 .....                         | 216        |
| 6.4.1 管材设计 .....                       | 216        |
| 6.4.2 管线设计 .....                       | 218        |
| 6.4.3 插入三通接头 .....                     | 231        |
| 6.4.4 生成管道实体 .....                     | 234        |
| 6.4.5 获取管道信息 .....                     | 235        |
| <b>第 7 章 自顶向下装配设计 .....</b>            | <b>237</b> |
| 7.1 自顶向下设计技术简介 .....                   | 237        |
| 7.1.1 自顶向下设计概念 .....                   | 237        |
| 7.1.2 自顶向下设计方法的优点 .....                | 238        |
| 7.1.3 自顶向下设计的步骤 .....                  | 238        |
| 7.1.4 自顶向下设计的工具 .....                  | 240        |
| 7.2 用骨架进行设计 .....                      | 242        |
| 7.2.1 使用骨架的目的 .....                    | 243        |
| 7.2.2 创建骨架 .....                       | 243        |
| 7.2.3 修改骨架 .....                       | 244        |
| 7.2.4 骨架的优点 .....                      | 245        |
| 7.2.5 创建曲轴连杆活塞的骨架 .....                | 245        |
| 7.3 布局设计 .....                         | 266        |
| 7.3.1 布局的概念 .....                      | 266        |
| 7.3.2 布局的使用方法 .....                    | 266        |
| 7.3.3 布局范例 .....                       | 267        |
| 7.3.4 声明布局 .....                       | 288        |

---

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第 8 章 动态装配技术</b> ..... | 296 |
| 8.1 组件族表 .....            | 296 |
| 8.1.1 族表简介 .....          | 296 |
| 8.1.2 创建组件族表 .....        | 298 |
| 8.1.3 修改族表 .....          | 301 |
| 8.1.4 确认组件族表的实例有效性 .....  | 303 |
| 8.1.5 组件族表范例 .....        | 303 |
| 8.2 装配阵列 .....            | 309 |
| 8.2.1 组件模式阵列的方式 .....     | 309 |
| 8.2.2 阵列具有族表的元件 .....     | 313 |
| 8.2.3 装配阵列范例 .....        | 318 |
| 8.3 在组件模式下输入关系 .....      | 319 |
| 8.3.1 输入关系的方法 .....       | 319 |
| 8.3.2 范例 .....            | 320 |
| <b>第 9 章 综合实例</b> .....   | 327 |
| 9.1 建立装配文件 .....          | 327 |
| 9.2 建立子装配 .....           | 334 |
| 9.3 装配 kqlvq.asm 文件 ..... | 338 |
| 9.4 装配管道 .....            | 343 |
| 9.5 获取管道信息 .....          | 352 |
| 9.6 解决再生失败 .....          | 354 |

# 第 1 章 Pro/ENGINEER 装配基础

对刚接触 Pro/ENGINEER 装配的设计师来说，装配模块的操作相较于其他模块似乎简单一些，就是对零件进行各种约束装配。其实 Pro/ENGINEER 的装配方式有传统的装配方式和自顶向下装配设计两种，所谓传统的装配方式就是将所要装配的零件设计制作完毕后，再进行装配；自顶向下装配设计就是设计师在没有零件的基础上，先进行设计装配，包括骨架模型、复制的几何参照以及基准参照等方法，而后进行零件设计制作。因此 Pro/ENGINEER 的装配是设计师设计产品时贯穿整个产品设计制作全过程思路的工作环节，它可以使设计者清晰的了解所要设计的思路，并简洁生动的表现产品间的装配关系，从而使设计者在整个设计过程中能够掌控全局，收放自如。

本章主要讲解在全面学习 Pro/ENGINEER 装配前所应当掌握的基础知识和环境的配置，以便在后续的学习中能够建立起一个正确的学习思想和学习环境。

## 1.1 基本概念及环境配置

Pro/ENGINEER 提供的装配功能在组件模块中实现，通过该功能可以将要装配的零件在组件文件中进行组合装配。和在零件设计时将各种特征合并到零件中一样，也可以将零件合并到组件中。在 Pro/ENGINEER 的“组件”模式下，不但可以根据零件的组合方式来设计零件，而且也可以将零件和子组件组合成组件。然后对该组件进行修改、分析或重新定向。其中在组件中装配的零件被称为元件。

### 1.1.1 组件的新建和打开

Pro/ENGINEER 创建的组件文件扩展名为\*.asm。在 Pro/ENGINEER 中创建一个新的组件文件，单击【文件】|【新建】命令，打开【新建】对话框，如图 1.1 所示，选择【组件】选项，建立一个组件文件。

单击【确定】按钮，进入组件模式，其界面如图 1.2 所示。

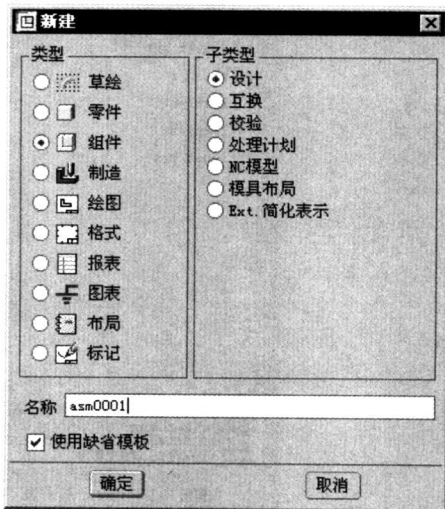


图 1.1 【新建】对话框

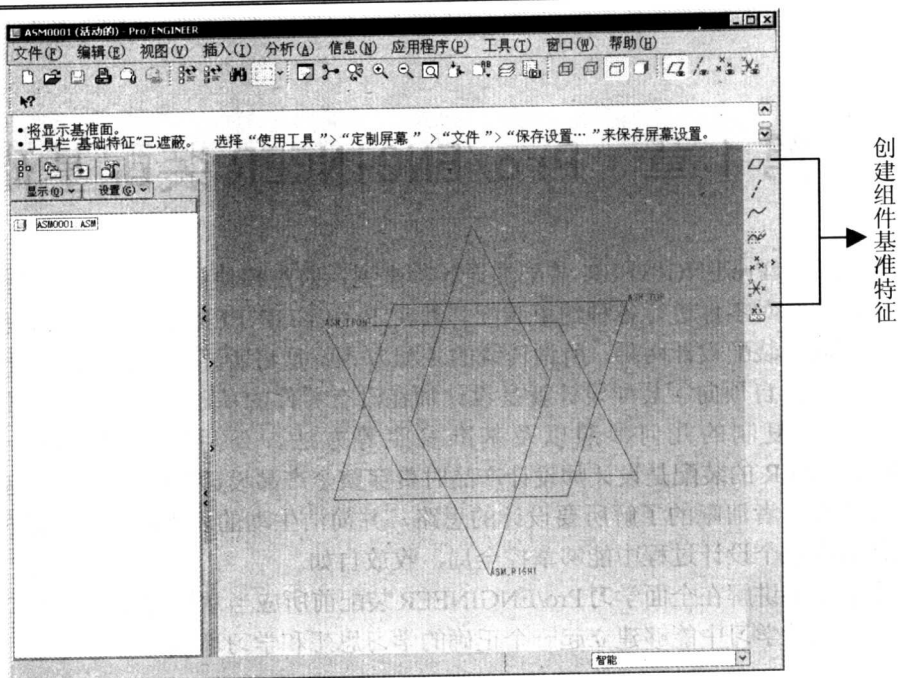


图 1.2 组件模式

在 Pro/ENGINEER 中打开一个组件文件，单击【文件】|【打开】命令，打开【文件打开】对话框，如图 1.3 所示，从中可以选择需要打开的组件文件。在该对话框中，用户可以从硬盘或内存中选择所需的文件。

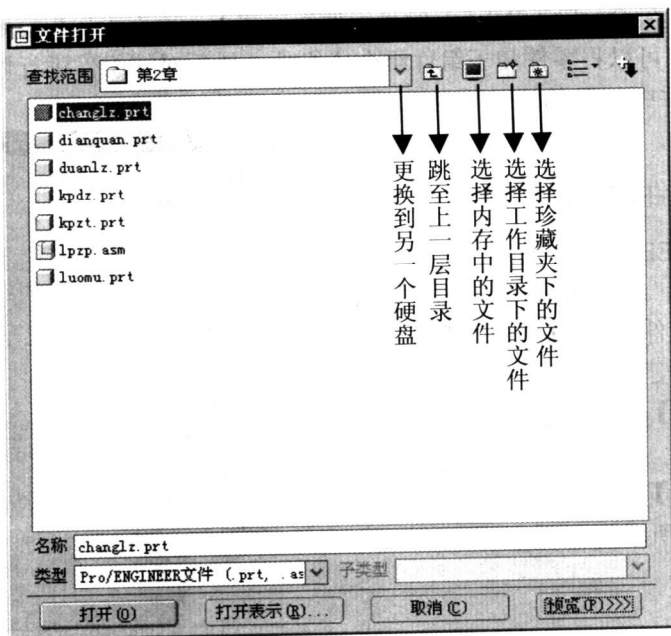


图 1.3 【文件打开】对话框

提示： 珍藏夹的作用是将常用的目录保存起来，通过珍藏夹可以保存多个常用目录，在以后的使用中方便查询。

### 1.1.2 界面介绍

Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版的界面相较于以前版本有了较大的改动，其中变动最大的便是取消了命令菜单，以及调整了主窗口颜色。Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版的装配文件界面如图 1.4 所示。

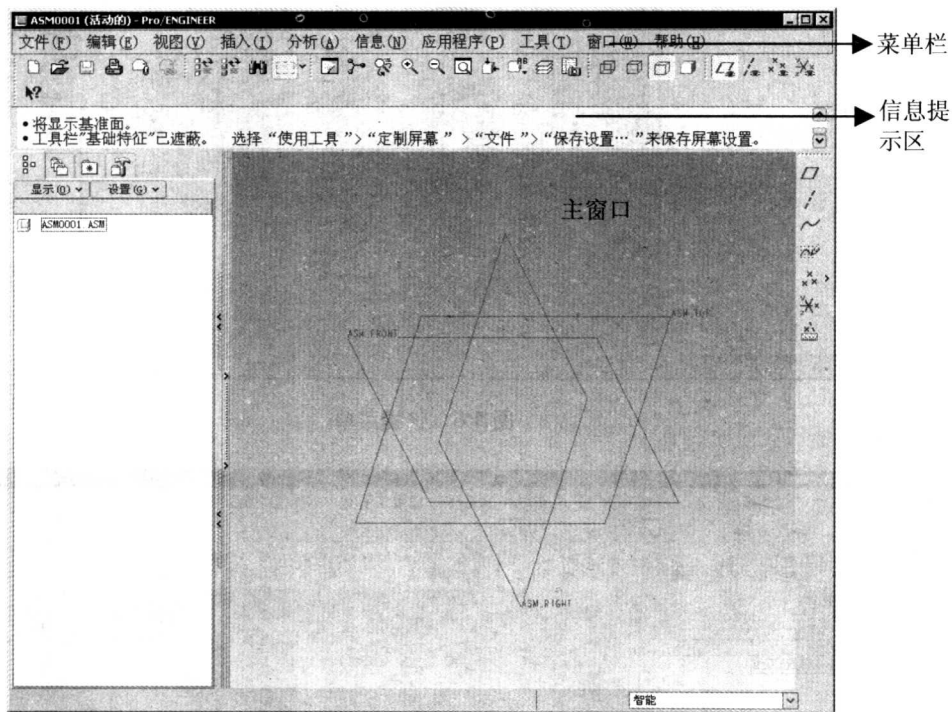


图 1.4 装配文件界面

在使用上，Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版具有更多的灵活性和方便性，它使用户摆脱了选择层叠菜单命令的烦琐，将菜单中各项命令的参数、属性设置都集成在单个图标中，只要单击这样的单个图标即出现该命令参数设置的对话框。如图 1.4 所示，在设置基准平面时，单击右边工具栏中的  图标，即打开【基准平面】对话框，在这样的一个对话框中便可建立所需的基准平面，如图 1.5 所示。

在 Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版界面中，可以设置在工具栏中出现的图标方法是，在右边工具栏的空白处单击鼠标右键，打开快捷菜单，如图 1.6 所示。

选择基础特征和工程特征，在右边工具栏中即出现了选择的图标，如图 1.7 所示。



图 1.5 【基准平面】对话框

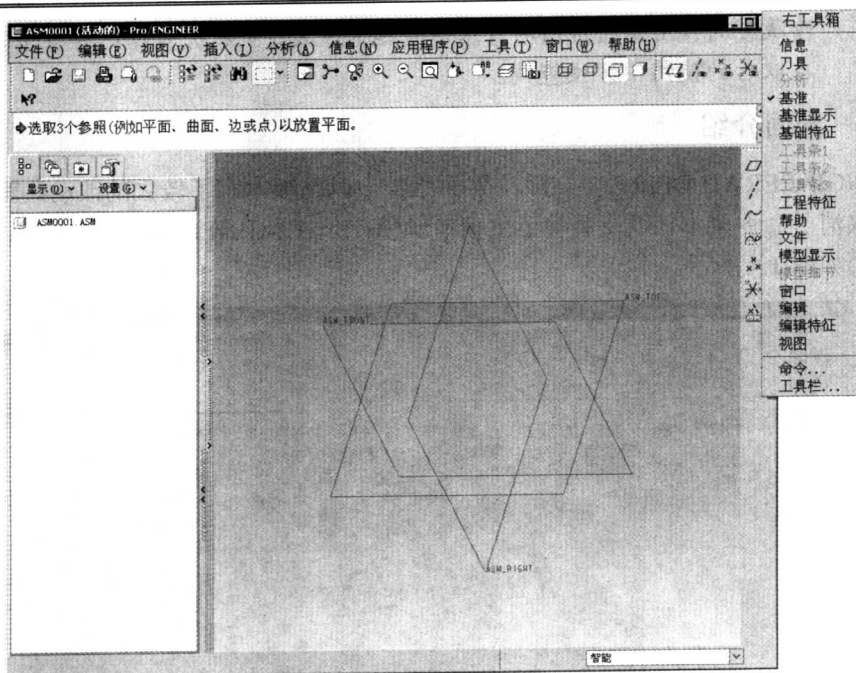


图 1.6 快捷菜单

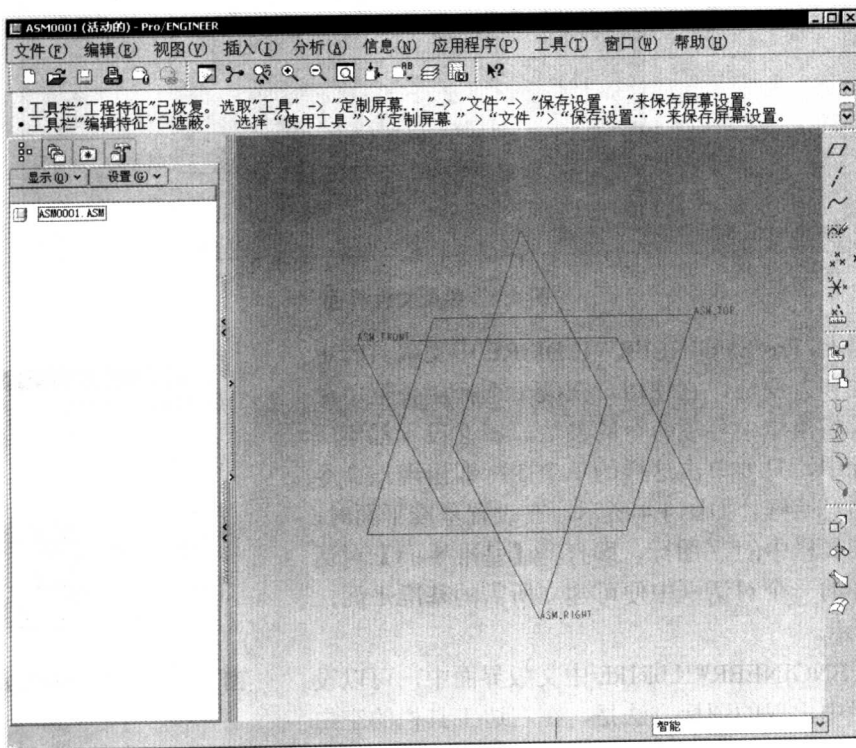


图 1.7 图标

若某些用户对 Pro/ENGINEER 以前版本较熟悉，习惯使用菜单命令，Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版在菜单栏中依然提供了命令选项，同以前版本一样，而且用户也可打开 Pro/ENGINEER 以前版本的层叠菜单。如图 1.8 所示，单击【应用程序】|【继承】命令，即在界面右上方打开【菜单管理器】，如图 1.9 所示。若要取消【菜单管理器】，则选择【应用程序】|【标准】命令，即可返回初始状态的界面。



图 1.8 菜单

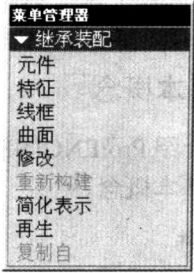


图 1.9 【菜单管理器】

Pro/ENGINEERWILDFIRE 中文版提供了非常人性化的改动，不仅在界面的使用上方便旧用户的操作，还在界面的颜色设置上也让旧用户熟悉。用户可以单击【视图】|【显示设置】|【系统颜色】命令，打开【系统颜色】对话框，如图 1.10 所示。单击【布置】|【使用 Pre-Wildfire 方案】命令，界面即变为熟悉的蓝色界面，如图 1.11 所示。若要返回到初始状态的界面，则取消选中【使用 Pre-Wildfire 方案】命令。

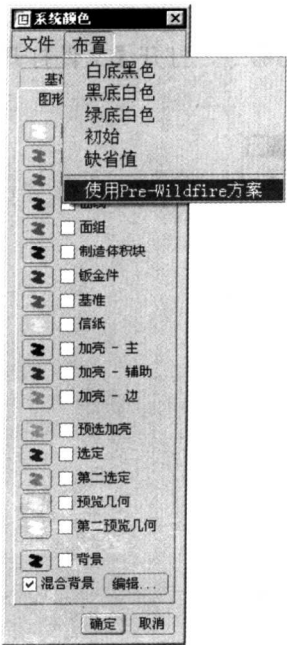


图 1.10 【系统颜色】对话框

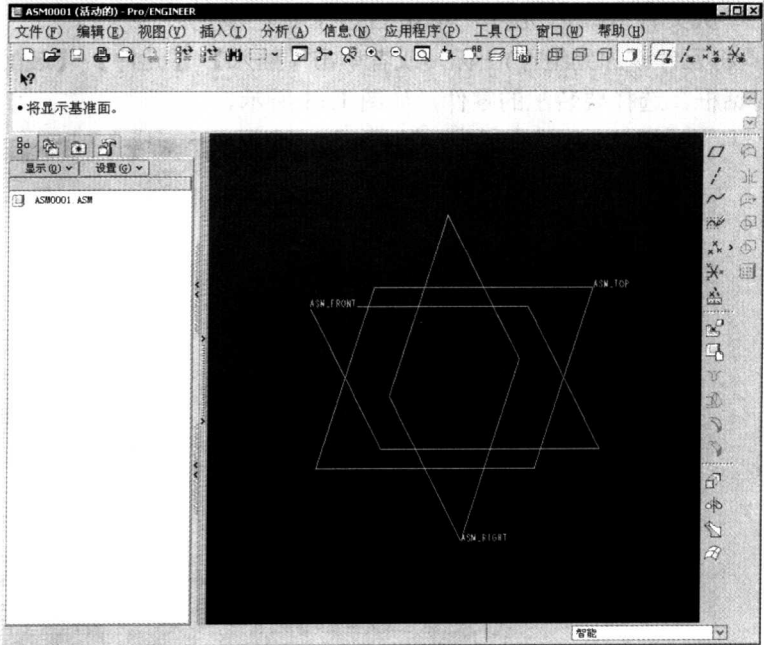


图 1.11 蓝色界面

在 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版中, 模型树已作为一个单独的窗口出现。单击如图 1.12 所示的箭头, 可以关闭模型树, 从而使得主窗口扩大, 再单击此箭头, 则模型树出现。

**注意:** Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版在鼠标操作中也有所改变, 按鼠标中键表示旋转, 按“Ctrl 键+鼠标中键”表示放大或缩小, 按“shift 键+鼠标中键”表示移动, 若鼠标有滚轮, 则滚轮可以放大或缩小。

### 1.1.3 基本概念

下面就来介绍 Pro/ENGINEER WILDFIRE 中文版中的一些基本概念。

#### 1. 创建组件

装配元件要创建组件, 必须首先创建基准特征或基本元件, 然后才可以创建或装配附加的组件到现有组件和基准特征中。在组件模式下进行装配有两种加入元件的方式, 一种是可以从文件外调入要装配的零件、子组件或骨架模型, 另一种是在组件模式下创建零件、子组件或骨架模型。

从文件外调入元件, 单击右边工具栏中的  (将元件添加到组件) 图标, 或者单击【插入】|【元件】|【装配】命令, 打开【文件打开】对话框, 选择要装配的零件, 如图 1.13 所示。

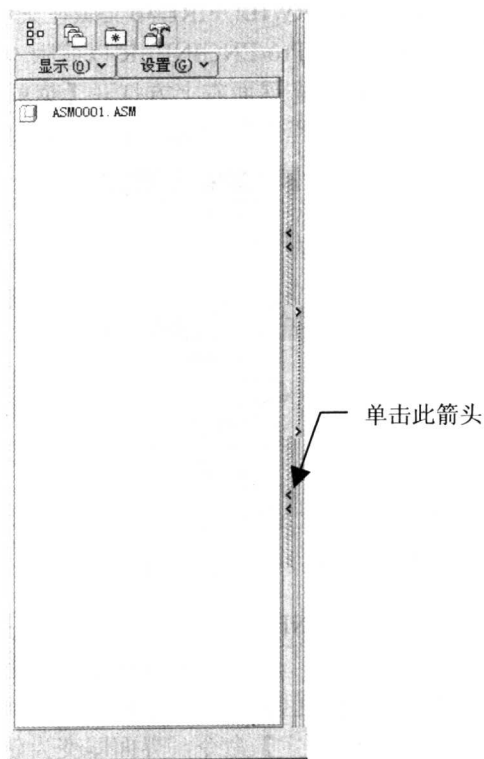


图 1.12 单击箭头

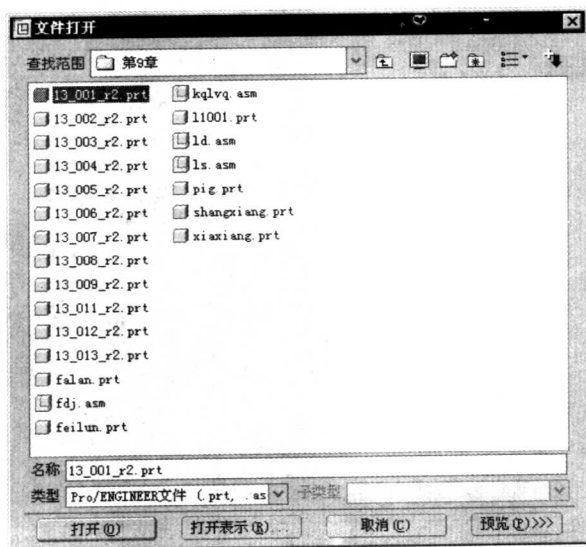


图 1.13 【文件打开】对话框

在组件模式下创建元件，可以单击右边工具栏中的图标，或者单击【插入】|【元件】|【创建】命令，打开【元件创建】窗口，如图 1.14 所示。从中可创建不同类型的元件：包括零件、子组件、骨架模型及主体项目。

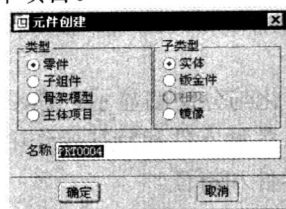


图 1.14 【元件创建】对话框

**提示：** 基本元件，就是放置到组件中的第一个零件、子组件或骨架模型。在许多方面，它就像是一个零件的基础特征，元件只按默认位置放置。

## 2. 组件特征

在组件模式下除了可以创建元件外，还可以创建特征，但创建的特征是属于组件的，不包含在任何零件中，因此称为组件特征。如图 1.15 所示，在组件中的装配零件 LQ.PRT 上创建了一个圆孔组件特征，而打开零件 LQ.PRT 后，发现该零件并没有圆孔特征，如图 1.16 所示。

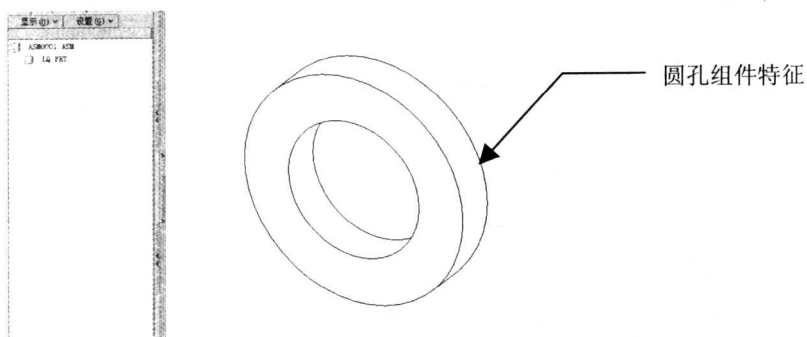


图 1.15 圆孔组件特征

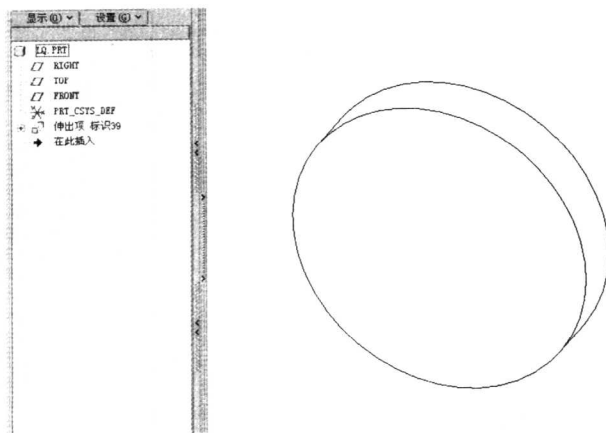


图 1.16 零件 lq.prt